

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

Gallium nitride base semiconductor device and method of fabricating the same.

Patent Number: ☐ [EP0551721](#), [A3](#), [B1](#)

Publication date: 1993-07-21

Inventor(s): MANABE KATSUhide TOYODA GOSEI (JP); WATANABE ATSUSHI CO CORP RD (JP); AKASAKI ISAMU (JP); AMANO HIROSHI NIJIGAOKAHIGASHI (JP); TAKEUCHI TETSUYA (JP)

Applicant(s): PIONEER ELECTRONIC CORP (JP); AKASAKI ISAMU (JP); AMANO HIROSHI (JP); TOYODA GOSEI KK (JP)

Requested Patent: ☐ [JP5343741](#)

Application Number: EP19920310314 19921112

Priority Number(s): JP19910335255 19911218

IPC Classification: H01L21/20; H01L29/201

EC Classification: [H01L33/00C4D3C](#), [H01L21/205C2](#), [H01L29/201](#), [H01L21/20B6B2](#), [H01L33/00G3B2](#)

Equivalents: DE69217903D, DE69217903T, JP3352712B2, ☐ [US5239188](#)

Cited Documents: [EP0460710](#); [EP0383215](#); [EP0377940](#); [JP3218625](#); [JP3203388](#); [JP62030696](#)

Abstract

A gallium nitride type semiconductor device comprises a silicon substrate, an intermediate layer consisting of a compound containing at least aluminum and nitrogen and formed on the silicon substrate, and a crystal layer of (Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN (0 < x < 1 and 0 < y < 1) and is held in an atmosphere of a metalorganic compound containing at least aluminum and a nitrogen containing compound to form a thin intermediate layer containing at least aluminum and nitrogen on a part or on the entirety of the surface of the single crystal substrate. At least one layer or multiple layers of a single crystal of (Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN are then formed on the intermediate layer.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-343741

(43)公開日 平成5年(1993)12月24日

(51)Int.Cl.³

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 8934-4M

審査請求 未請求 請求項の数4(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平3-335255

(22)出願日 平成3年(1991)12月18日

(71)出願人 591014950

天野 浩

愛知県名古屋市長区神丘町2丁目21 虹
ヶ丘東団地19号楼103号室

(71)出願人 591283084

赤崎 勇

愛知県名古屋市中区浄心1丁目1番38-
805

(71)出願人 000005016

バイオニア株式会社

東京都目黒区目黒1丁目4番1号

(74)代理人 弁理士 藤村 元彦

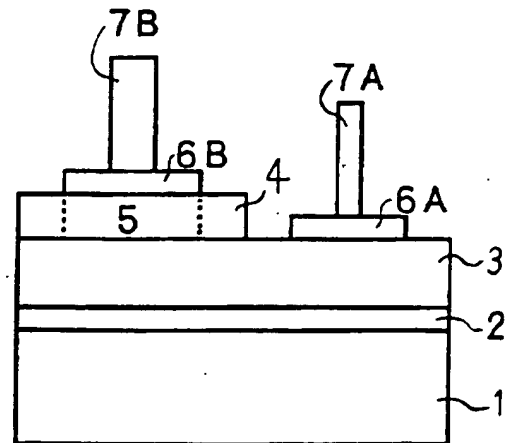
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 窒化ガリウム系半導体素子及びその製造方法

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 結晶欠陥の発生を抑制した高結晶品質で平坦性の極めて優れた $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の単結晶を作製し、大電流注入によっても動作できかつ微細加工特に電極形成が容易にできる窒化ガリウム系半導体素子及びその製造方法を提供する。

【構成】 窒化ガリウム系半導体素子製造方法において、シリコンの単結晶基板1を温度400～1300℃に保持し、少なくともアルミニウムを含む有機金属化合物及び窒素を含む化合物が存在する雰囲気内に単結晶基板を保持して少なくともアルミニウム及び窒素を含む薄膜の中間層2を単結晶基板の表面の一部分又は全体に形成し、しかる後、中間層の上に $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の単結晶層3を少なくとも一層又は多層形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン（Si）基板と、前記シリコン基板上に形成された少なくともアルミニウム（Al）及び窒素（N）を含む化合物からなる中間層と、前記中間層上に形成された $(Ga_{1-x}Al)_yIn_yN$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ 、但し $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く）の結晶層とからなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体素子。

【請求項2】 前記 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 但し $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く) の結晶層上に形成されかつ伝導性が該結晶層のそれとは異なりかつpn接合を形成する少なくとも1つの $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 但し、 $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く) の他の結晶層を有し、各々の結晶層において x 及び y は等しい場合、あるいは異なる場合を含むことを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系半導体素子。

【請求項3】 シリコン（Si）基板と、前記シリコン基板上に形成された少なくともアルミニウム（Al）及び窒素（N）を含む化合物からなる中間層と、前記中間層上に形成された $(Ga_{1-x}Al)_yIn_zN$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 但し $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く) の結晶層とからなる窒化ガリウム系半導体素子を製造する方法であって、シリコンの単結晶基板を温度400～1300℃に保持し、少なくともアルミニウムを含む有機金属化合物及び窒素を含む化合物が存在する雰囲気内に前記単結晶基板を保持して少なくともアルミニウム及び窒素を含む薄膜の中間層を前記単結晶基板の表面の一部又は全体に形成し、しかる後、前記中間層の上に $(Ga_{1-x}Al)_yIn_zN$ の単結晶層を少なくとも一層又は多層形成することを特徴とする窒化ガリウム系半導体素子の製造方法。

【請求項4】 前記 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の単結晶層における Al ノル分率 x が0及び1を含み0から1の範囲内で、 In ノル分率 y が0及び1を含み0から1の範囲内（但し、 $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く）であることを特徴とする請求項3記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

[0 0 0 1]

【産業上の利用分野】本発明は、ワイドギャップ半導体として産業界より注目されている $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の単結晶からなる窒化ガリウム (GaN) 系半導体素子及びその作製方法に関し、特に、シリコン (Si) を基板として、その上に、特に波長にして $200 \sim 700 \text{ nm}$ 帯の発光及び受光素子用材料として期待されている $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の高品質単結晶を作製する方法に関する。

[0002]

【従来の技術及び問題点】 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$
 $(0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, \text{但し, } x=1 \text{ かつ } y=0 \text{ の})$

場合は除く)の結晶は、室温でのニルギーバンドギャップに対応する光の波長が200~700nm帯にある直接遷移型半導体であり、特に可視短波長及び紫外光領域の発光及び受光素子用材料として期待されている。

【0003】 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 結晶は成長温度付近で構成元素である窒素 (N) の平衡蒸気圧が極めて高いため、そのバルク結晶の作製は容易でない。従って、現在単結晶作製は異種結晶を基板として用いたヘテロエピタキシャル成長により行っている。 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 結晶作製用基板として必要な条件は、

(1) 融点が高いこと (少なくとも 1,000℃以上)、
(2) 化学的に安定であること、(3) 結晶品質がすぐれていること、(4) 格子定数差が小さいこと、(5) 入手が容易であること、(6) 基板が大型であること、が望ましい。また、電氣的に動作する素子を作製する場合、(7) 電氣的特性の制御が容易であること、特に低抵抗であること、が望ましい。

【0004】これらすべての条件を満足する結晶はない。現在最もよく用いられている基板は、(1) (2) (3) (5) (6) を満足するサファイアから形成されている。サファイアと $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ との間には格子定数差が1%以上あり、(4) の条件からは望ましくないが、本発明者らは、 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の結晶成長直前に、低温 ($\sim 600^\circ\text{C}$) で薄膜の AlN ($\sim 50\text{ nm}$) をサファイア基板上に堆積して緩衝層とすることにより、高品質の $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 結晶の作製が可能であることを見だしている (特願昭60-256806号)。この技術を用いて高性能青色、紫外光LEDの作製にも成功している。しかしながら、サファイアは絶縁体であり、かつ堅固であるため窒化ガリウム系半導体素子形成、特にその電極形成が容易でないという問題点があり、大電流注入により動作する半導体素子には不向きであった。

【0005】この問題点を解決する基板材料の候補の一つにシリコン（Si）がある。Siでは容易に低抵抗高融点基板が得られ、しかも大型の完全に近い結晶を容易に得ることが出来、Si基板は安価高結晶品質でかつ大面積化及び微細加工も容易である。すなわち、（1）（2）（3）（5）（6）（7）の条件を満足する。Si基板上の（Ga_{1-x}Al_x）_{1-y}In_yN結晶作製における最も大きな問題点は、例えばGa_{0.5}In_{0.5}NとSiとの間において17%程度という大きな格子定数差であり、この格子定数差に基づく結晶欠陥の発生を抑制する技術の確立が望まれていた。

[0 0 0 6]

【発明の目的】本発明の目的は、可視短波長及び紫外光発光及び受光素子用材料として期待される $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 結晶を、安価、高結晶品質で大面積化、及び低抵抗化が容易な Si 基板上に形成することの出来る窒化ガリウム系半導体素子及びその製造方法を提

供することにある。

【0007】

【問題点を解決するための手段】本発明は、 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 単結晶をSi基板に作製する場合において、 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 単結晶の成長前に、少なくともAlを含む有機金属化合物、及び窒素化合物の両方を成長炉内に導入して、少なくともAl及びNを含む化合物、例えばAlN薄層をSi基板表面の一部分ないし全体に形成した後、次にAlを含む有機金属化合物の供給のみを一旦止め、必要とする混晶組成に見合った分のAlを含む有機金属化合物、Gaを含む有機金属化合物、及びInを含む有機金属化合物を引続き供給することにより、Al及びNを含む化合物の薄層、即ち中間層上に $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 結晶($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 但し、 $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く)を作製する工程を含む製造方法によって、窒化ガリウム系半導体素子を製造することの特徴とする。

【0008】本発明の実施例では、Alを含む有機金属化合物、及び窒素化合物を成長炉内に導入して、少なくともAl及びNを含む化合物、例えばAlN(以下、AlNと記す)を形成する場合、Si基板の温度は400~1300℃の範囲内であることが好ましい。なお、本発明は、上記 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 層におけるAlNモル分率が0及び1を含み0から1の範囲内、Inモル分率 y は0及び1を含み0から1の範囲内(ただし、 $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く)で有効である。

【0009】

【発明の作用】本発明の発明者らは、電気的特性の制御が容易であり結晶学的に優れた特性を有しかつ安価であるSi基板上に、気相成長法、特に原料として有機金属化合物を用いた有機金属化合物気相成長法により、高品

質 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 単結晶を得るべくSi基板表面処理方法を種々検討した結果、上記発明を完成した。


【0010】Si基板上への $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 層の成長における最も大きな問題点は、例えばGaNとSiを比較した場合、17%ものきわめて大きな格子定数差が存在することであった。実際、GaNを直接Si基板上に成長させても、多結晶化するか、或は単結晶であっても六角柱状の島状に成長し、平坦性のよい高品質単結晶の作製は困難であった(例えば、T. L. Chu, Journal of Electrochemical Society, Solid State Science, 第118巻, 1971年, 1200頁, あるいはYasuo Morimoto, Kosuke Uchiho and Shintaro Ushio, Journal of Electrochemical Society, 第120巻, 1973年, 1783頁などに、GaNをSi基板上に直接成長させた場合の報告があり、実際、本発明者もいろいろな検討を行ったが、直接高品質結晶をSi基板上に成長させるのは困難であった)。そこで、本発明者らは、なんらかの中間層が必要であると考え、種々の結晶を検討し、最初、3C-SiCを候補とした。

【0011】3C-SiCを中間層とした場合は既に、高品質単結晶 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の成長が可能であることを確認している(特願平2-418003号)。本発明者らは更に、3C-SiCとほぼ同一の格子定数を持つAlNを中間層としても、同様の効果が期待できると考え、検討を行い、上記発明に至った。表1を見ればわかるように3C-SiCとAlNとは格子定数差が0.94%と極めて小さい。

【0012】

【表1】

Si, SiC及び窒化物の格子定数及び格子定数差

	格子定数(nm)	格子定数差(%)
Si	0.5430	 19.74 0.94 SiC(111)-AlN(0001) 2.50
3C-SiC	0.4358	
AlN	0.3111	
GaN	0.3189	

【0013】本発明の特徴は、あくまでAlNを中間層として用いることにあり、AlNを中間層として用いてSi基板上に $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 層を成長させることにより、Si基板上に直接成長させたものと比較

して、各段に品質が優れ、しかも平坦性の極めて優れた $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の単結晶を得ることが出来る。

【0014】本発明により、 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$

Nの単結晶を安価に得られるようになる。また、微細加工が容易かつ大電流の注入により動作できる窒化ガリウム系半導体素子、特に半導体レーザダイオードを得ることが出来る。

【0015】

【実施例】以下、本発明によるSi基板上への $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 但し、 $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く)の単結晶の作製方法の実施例を説明する。以下に説明する実施例は、本発明を例示するに過ぎず、本発明を限定するものではない。

【0016】本実施例によれば、量産性及び膜厚制御性に優れる有機金属化合物気相成長法を用いており、特に発光素子の作製は容易である。図1に示すように、ウェーハの低抵抗n型Si(111)面基板1上に、AlN薄膜の中間層2を形成の後、アンドープまたはSiドープn型Ga_{1-x}Al_xN層3を成長する。引続き、MgドープGa_{1-x}Al_xN層4を選択的に成長したのち、成長炉よりウェーハを取り出し、低加速電子線照射処理(特願平2-2614号)を行い、MgドープGa_{1-x}Al_xN層4を部分的にp型化してp型領域5とする。次に、n型Ga_{1-x}Al_xN層3及びp型Ga_{1-x}Al_xN領域5のそれぞれに金属電極6A、6Bを蒸着し、それら各々にリード線7A、7Bを接続して発光ダイオードを形成する。n型Ga_{1-x}Al_xN層3側を負、Mgドープp型Ga_{1-x}Al_xN領域5側を正としてバイアスをかけることにより、室温において電圧3.5V付近から青色及び紫外線発光を確認できた。

(1) 中間層作製プロセス

AlNの中間層作製及び $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$

($0 \leq x < 1$, $0 \leq y \leq 1$, 但し、 $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く)の単結晶作製は、通常の膜型化合物半導体結晶成長装置を用いた。成長手順を以下に示す。まず結晶成長用基板、即ち低抵抗Si基板(実験では(111)面を用いた)をメタノールなどの有機薬品による洗浄の後、弗酸系エッチャントにより表面の酸化物を取り除き、純水による洗浄の後、結晶成長部に設置する。成長炉を真空排気後、水素を供給し、例えば1200℃程度(400~1300℃の範囲内)まで昇温する。本成長装置では成長炉内に石英を用いており、その軟化点は1300℃であるため、それ以上の温度での実験は困難であり、実験を行っていない。

【0017】この後、成長炉内に水素に加え、Alを含む有機金属化合物、例えばトリメチルアルミニウム(Trimethyl Aluminum:TMA)及び窒素化合物、例えばアンモニア(Amonia:NH₃)を成長装置内に導入し、5nmから200nm程度の膜厚を持つAlN薄膜をSi基板上に形成する。AlN薄膜形成時の基板温度400℃より低い場合、原料ガスの分解が不十分になり、本発明の効果は期待できなくなる。また装置の都合上、成長炉に石英を用いているため、1300℃以上では実験できない。ま

たAlN緩衝層が200nmより厚くなると、そのAlN層上に成長する $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 層の平坦性は悪化する。

【0018】さらに、上記のAlN中間層を用いる方法は、Si基板上に高品質の例えばGa_{1-x}Al_xN単結晶を作製するのに有効であるが、AlN層は高抵抗であり、基板とGa_{1-x}Al_xN層とは電気的に絶縁されてしまうため、基板を電極替わりに利用することができない。この問題を解決するには多くの方法があるが、ここではそのうち、4つの方法を示す。

【0019】(i) 選択多結晶析出技術の利用

図2の成長プロセスの概略に示すように、一部分SiO₂などで覆ったSi基板1上にAlN中間層2を形成し(図2a)、一旦成長炉から取り出して、SiO₂を剥離する。これにより、Si基板の表面はAlN層で覆われている部分とSi基板の露出部分ができる(図2b)。この場合、AlN層の部分とSi基板の露出部分は面積的に大体同程度にする。次にそれを基板として、Ga_{1-x}Al_xNの成長を行う。Ga_{1-x}Al_xNはAlN中間層2上には単結晶で成長し、Si基板1上にはGa_{1-x}Al_xN多結晶が析出する。Si基板1上のGa_{1-x}Al_xN多結晶は低抵抗n型伝導性を示し、アクセプタ不純物を添加しても高抵抗化しないため、Si基板とGa_{1-x}Al_xN単結晶とは、Ga_{1-x}Al_xN多結晶を通して、電気的に接続される(図2c)。図3に選択多結晶析出技術により形成した発光素子の概略構造図を示し、この発光素子は、順に積層されたAu-Sb電極、Si基板、AlN中間層、n型Ga_{1-x}Al_xN多結晶層で接続されたn型Ga_{1-x}Al_xN単結晶層、p型Ga_{1-x}Al_xN単結晶層及びAu電極からなる。

【0020】(ii) 選択横方向技術の利用

図4の成長プロセスの概略に示すように、(i)の選択多結晶析出技術と同様の手段を用いて(図4a、図4b)、Si基板1表面にAlN中間層2の部分とSi基板の露出部分とを形成する。ここでは、AlN中間層部分を、Si基板の露出部分より面積的にかなり大きくする。その上にGa_{1-x}Al_xN単結晶を成長すると、最初はAlN中間層部分にのみGa_{1-x}Al_xN単結晶が成長する(図4c)。AlN中間層上に成長したGa_{1-x}Al_xN単結晶は横方向に成長し、隣接するAlN中間層上から成長したGa_{1-x}Al_xN層とながり、最終的にSi基板全体で一つのGa_{1-x}Al_xN単結晶が作製される(図4d)。Si基板とGa_{1-x}Al_xN単結晶とは横方向に成長した部分で電気的に接続される。図5に選択横方向技術により形成した発光素子の概略構造図を示し、この発光素子は、順に積層されたAu-Sb電極、Si基板、AlN中間層、n型Ga_{1-x}Al_xN単結晶層、p型Ga_{1-x}Al_xN単結晶層及びAu電極からなる。

【0021】(iii) Al_{1-x}Ga_xAl_{1-x}N ($x \neq 1$) 中間層の利用

図6の成長プロセスの概略に示すように、まず、Si基板1上にAlN中間層のかわりにAl_{1-x}Ga_xAl_{1-x}N ($x \neq$

1) 中間層2を一様に形成する(図6a)。Al_{1-x}Ga_{1-x}Nは、ドナー不純物の添加により低抵抗化が可能であるため、Si基板1と電気的に接続される。実際には、Al_{1-x}Ga_{1-x}N中でSiはドナーとして働き、また、成長中にSiは基板からオートドープされることから、故意に不純物を添加しなくても、Al_{1-x}Ga_{1-x}N中間層2は低抵抗n型になり、好都合である。混晶組成に関してはxが(0、1)以上が好ましく、これによりAl_{1-x}Ga_{1-x}N中間層2は上記のAlN中間層と同程度の効果を奏する。この中間層2上にGa_{1-x}N単結晶が作製される(図6b)。図7にAlGa_{1-x}N中間層を形成した発光素子の概略構造図を示し、この発光素子は、順に積層されたAu-Sb電極、Si基板、AlGa_{1-x}N中間層、n型Ga_{1-x}N単結晶層、p型Ga_{1-x}N単結晶層及びAu電極からなる。

【0022】(iv) 極薄膜AlN中間層の利用

図8の成長プロセスの概略に示すように、まず、Si基板1上にAlN中間層2を極薄膜化すると(図8a)、例えば低抵抗n型Si基板中の電子の波動関数とn型Ga_{1-x}N中の電子の波動関数が重なるようになり、トンネル電流が流れ、電気的に接続される。この効果を利用するには、AlN中間層2の層厚は、波動関数の広がりと同程度、即ち厚くとも10nm以下にする必要があり、しかも中間層として効果があるためには少なくとも1nm以上あることが好ましい。この方法では、極薄膜成長技術を利用する。この中間層2上にGa_{1-x}N単結晶が作製される(図8b)。図9に極薄膜AlN中間層を形成した発光素子の概略構造図を示し、この発光素子は、順に積層されたAu-Sb電極、Si基板、極薄膜AlN中間層、n型Ga_{1-x}N単結晶層、p型Ga_{1-x}N単結晶層及びAu電極からなる。

【0023】中間層作製プロセスは以上である。

(2) pn接合の形成

中間層作製プロセスの後にはサファイア上に作製している場合と同様、例えば基板温度を1040℃として、ガリウムを含む有機金属化合物、例えばトリメチルガリウム(Trimethyl gallium:TMG)及びNH₃を供給してGa_{1-x}N層の成長を行う。混晶を成長させる場合には混晶組成に見合うだけのTMG、TMA及びトリメチルインジウム(Trimethyl Indium:TMI)を供給する。

【0024】(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN層が所望の成長膜厚に達した後、TMG、TMA、TMIの供給を止め降溫し、基板温度が600℃以下になったのちNH₃の供給を止め、温度が室温程度に下がったとき成長装置より取り出す。本発明は、(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN混晶のうち、ほとんど全ての混晶組成において、中間層上に成長させる場合、同様な効果が得られる。但し、AlN(x=1かつy=0)を中間層の上に成長する場合には、本発明の効果は期待できない。

【0025】上記のように作製した(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN結晶は故意に不純物を添加しなくてもn型伝導性を示すため、そのまま発光素子のn型層に利用する。もちろん、上記(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN結晶作製時に故意にドナーとして働く不純物を添加してもよい。次に、結晶表面の全体、または一部に、x及びyが所望の値となるよう、原料ガスの流量を制御し、同時にアクセプタとなる不純物、例えば亜鉛やマグネシウムなどの原料となるガスを供給して、伝導性の異なる(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN結晶の接合を形成する。成長を終了し、成長炉内よりウェーハを取り出した後に、各々伝導性の異なる層それぞれに電極を形成し、発光素子が作製される。

【0026】本発明により作製したAlN中間層上のGa_{1-x}N結晶の表面を顕微鏡を介し写真撮影したもの及び反射電子線回折像を図10(a)及び図10(b)にそれぞれ示す。図11(a)及び図11(b)に、比較例としてSi基板上に直接Ga_{1-x}Nを作製した場合のGa_{1-x}N結晶の表面顕微鏡写真及び反射電子線回折像をそれぞれ示す。図から明らかなように、本発明のようにAlN中間層を用いて作製したGa_{1-x}Nの表面は極めて平坦であり(図10(a))、また、反射電子線回折像から、得られたGa_{1-x}Nが単結晶であることがわかり、また菊池線や菊池帯が観測されるなど結晶性が極めて良いことが分る(図10(b))。一方、比較例のSi基板上に直接成長させた場合は、島状にしか成長せず(図11(a))、また、反射電子線回折像も観測されないことから(図11(b))、結晶性はきわめて悪い。

【0027】単結晶X線回折評価装置により銅のK α 線を入射X線として、それぞれの膜を評価すると、本発明により作製したGa_{1-x}N層からは、X線回折強度は強く、また、K α_1 線とK α_2 線も明瞭に分離されるなど、サファイア上に成長したものと遜色ない結晶性を有していることが分った。一方、比較例のSi基板上に直接成長した膜からはX線回折は認められず、結晶性は悪いことが結論づけられた。

【0028】本発明は、安価なSiを基板として用いており、今後、特に可視短波長発光素子及び近紫外発光素子の実用化にとって必須の技術である。

【0029】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、窒化ガリウム系半導体素子において、シリコン基板と、シリコン基板上に形成された少なくともアルミニウム及び窒素を含む化合物からなる中間層と、中間層上に形成された(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN(0≤x≤1, 0≤y≤1, 但しx=1かつy=0の場合は除く)の結晶層とからなる構造を有しているので、大電流注入によっても動作できかつ微細加工特に電極形成が容易にできる窒化ガリウム系半導体素子を得ることが出来る。

【0030】また、本発明の窒化ガリウム系半導体素子製造方法によれば、シリコンの単結晶基板を温度400～

1300℃に保持し、少なくともアルミニウムを含む有機金属化合物及び窒素を含む化合物が存在する雰囲気内に単結晶基板を保持して少なくともアルミニウム及び窒素を含む薄膜の中間層を単結晶基板の表面の一部分又は全体に形成し、しかる後、中間層の上に $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の単結晶層を少なくとも一層又は多層形成するので、得られた単結晶層の結晶欠陥の発生を抑制した高結晶品質で平坦性の極めて優れた $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ の単結晶を有する窒化ガリウム系半導体素子を得ることが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による窒化ガリウム系半導体素子であるSi基板上の $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ 、但し、 $x=1$ かつ $y=0$ の場合は除く) からなる発光ダイオードの概略構成断面図である。

【図2】本発明による実施例の窒化ガリウム系半導体素子製造方法におけるSi基板上の各層を示す概略断面図である。

【図3】本発明による実施例の窒化ガリウム系半導体素子である発光ダイオードを示す概略構成断面図である。

【図4】本発明による他の実施例の窒化ガリウム系半導体素子製造方法におけるSi基板上の各層を示す概略断面図である。

【図5】本発明による他の実施例の窒化ガリウム系半導体素子である発光ダイオードを示す概略構成断面図である。

【図6】本発明による他の実施例の窒化ガリウム系半導体素子製造方法におけるSi基板上の各層を示す概略断

面図である。

【図7】本発明による他の実施例の窒化ガリウム系半導体素子である発光ダイオードを示す概略構成断面図である。

【図8】本発明による他の実施例の窒化ガリウム系半導体素子製造方法におけるSi基板上の各層を示す概略断面図である。

【図9】本発明による他の実施例の窒化ガリウム系半導体素子である発光ダイオードを示す概略構成断面図である。

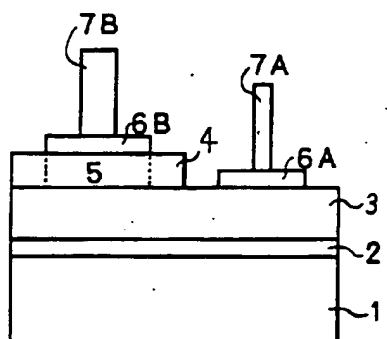
【図10】本発明による窒化ガリウム系半導体素子製造方法により作製したGaNの表面の様子を示す顕微鏡写真に基づく拡大平面図(a)及び反射電子線回折線像を示す図(b)である。

【図11】比較例のSi基板上に直接GaN成長させた場合のGaNの表面の様子を示す顕微鏡写真に基づく拡大平面図(a)、及び反射電子線回折線像を示す図(b)である。

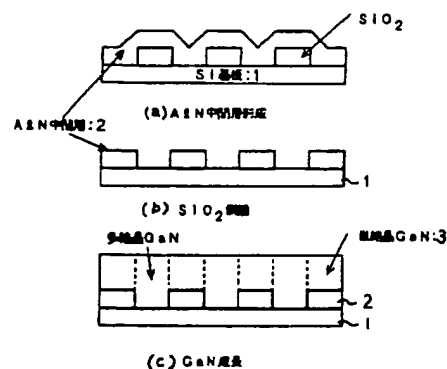
【主要部分の符号の説明】

- 1 n型Si(111)面基板
- 2 AlN中間層
- 3 アンダーブまたはSiドープn型 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 単結晶層
- 4 Mgドープ高抵抗 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 単結晶層
- 5 低加速電子照射処理されたMgドープp型 $(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN$ 単結晶層
- 6A、6B 金属電極
- 7A、7B リード線

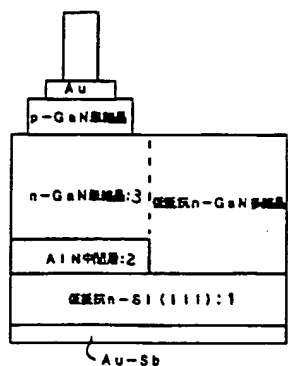
【図1】



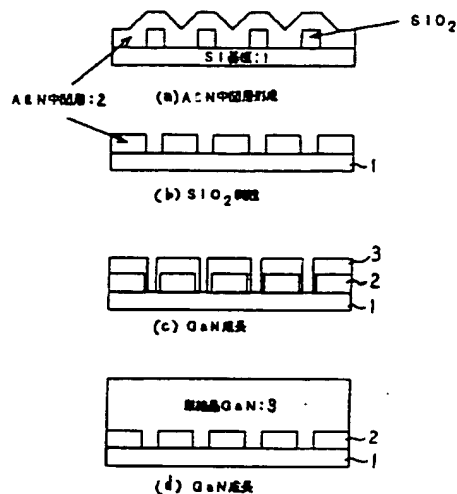
【図2】



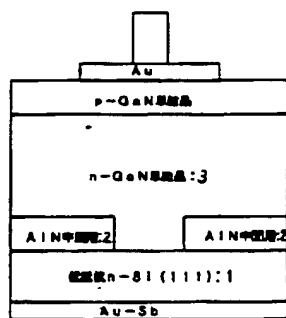
【図3】



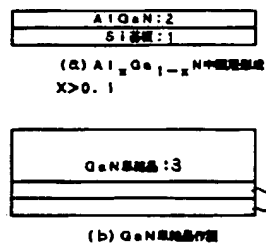
【図4】



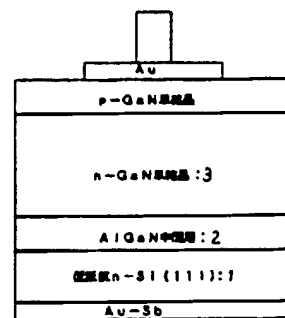
【図5】



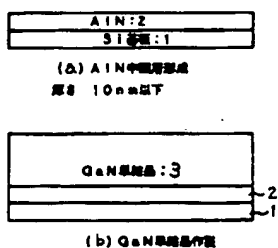
【図6】



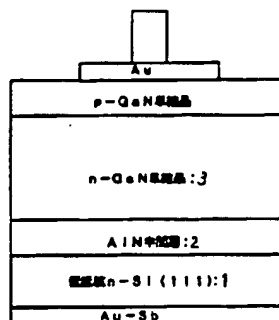
【図7】



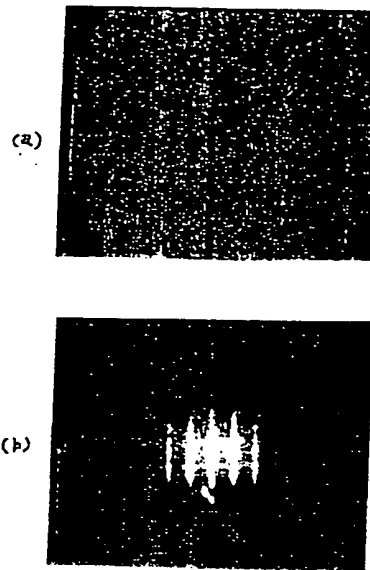
【図8】



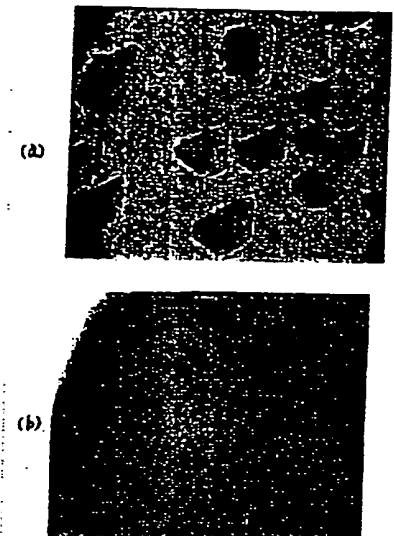
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(71)出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地

(72)発明者 竹内 哲也

愛知県名古屋市昭和区伊勢町2丁目96番地
ラフォーレ山の手B-205

(72)発明者 天野 浩

愛知県名古屋市名東区神丘町2丁目21虹ヶ丘東団地19棟103号室

(72)発明者 赤崎 勇

愛知県名古屋市西区浄心1丁目1番38-805

(72)発明者 渡辺 温

埼玉県鶴ヶ島市富士見6丁目1番1号パイオニア株式会社総合研究所内

(72)発明者 真部 勝英

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地 豊田合成株式会社内